





Method and apparatus for measuring the current flowing in a workpiece

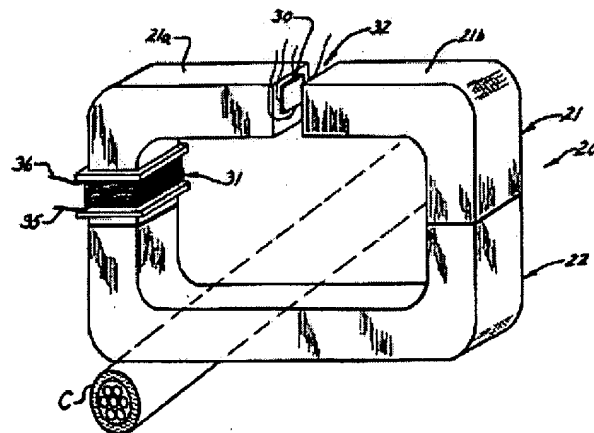
Patent number: DE2706547
Publication date: 1977-09-22
Inventor: MOORE PRENTICE GEAN (US); DIERKER JEFFREY ALAN (US)
Applicant: BELL INC F W
Classification:
 - international: G01R15/02; G01R1/22
 - european: G01R1/20, G01R15/20B, G01R33/025
Application number: DE19772706547 19770216
Priority number(s): US19760664716 19760308

Also published as:	
	US4059798 (A1)
	JP52108181 (A)
	GB1525310 (A)
	FR2344024 (A1)

Abstract not available for DE2706547

Abstract of correspondent: **US4059798**

Magnetic cores of clamp-on type current measuring devices having a Hall-effect device for measurement of D.C. currents are provided with stabilizing coils which are periodically energized to substantially eliminate the characteristic hysteresis effect of the core material. A magnetic core of the type which is split to permit opening and subsequent clamping onto a conductor, has one section thereof provided with an air gap in which the Hall-effect device is positioned. A stabilizing coil is positioned on one section of the magnetic core and the coil and is periodically energized with a damped oscillatory current. This damped oscillatory current is at least applied immediately prior to the taking of any current measurement and is preferably applied periodically to maintain the stability of the magnetic core.



THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑤ Int. Cl. ³ = Int. Cl. ²

Int. Cl. 2:

G 01 R 15/02

⑯ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

G 01 R 1/22

DEUTSCHES PATENTAMT



DE 27 06 547 B 2

Auslegeschrift 27 06 547

⑪

Aktenzeichen: P 27 06 547.0-35

⑫

Anmeldetag: 16. 2. 77

⑬

Offenlegungstag: 22. 9. 77

⑭

Bekanntmachungstag: 17. 7. 80

⑮

⑰

Unionspriorität:

⑲ ⑳ ㉑

8. 3. 76 V.St.v.Amerika 664716

⑳

Bezeichnung:

Verfahren und Anordnung zum Messen des elektrischen Stromes in einem Leiter, der von einem magnetischen Kern umfaßt wird und in diesem einen magnetischen Fluß erzeugt

㉑

Anmelder:

F.W. Bell Inc., Columbus, Ohio (V.St.A.)

㉒

Vertreter:

Grünecker, A., Dipl.-Ing.; Kinkeldey, H., Dr.-Ing.;
Stockmair, W., Dr.-Ing. Ae.E.; Schumann, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.;
Jakob, P., Dipl.-Ing.; Bezold, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Pat.-Anwälte,
8000 München

㉓

Erfinder:

Dierker, Jeffrey Alan, Westerville; Moore, Prentice Gean, Columbus;
Ohio (V.St.A.)

㉔

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

GB 9 60 668

US 36 49 912

US 35 73 616

DE 27 06 547 B 2

BEST AVAILABLE COPY

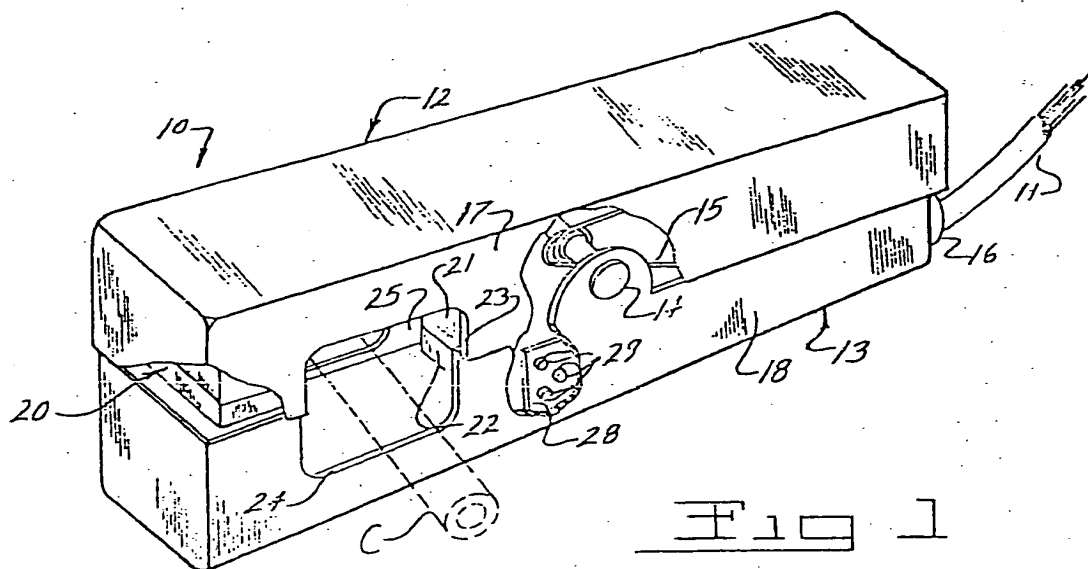


Fig. 1

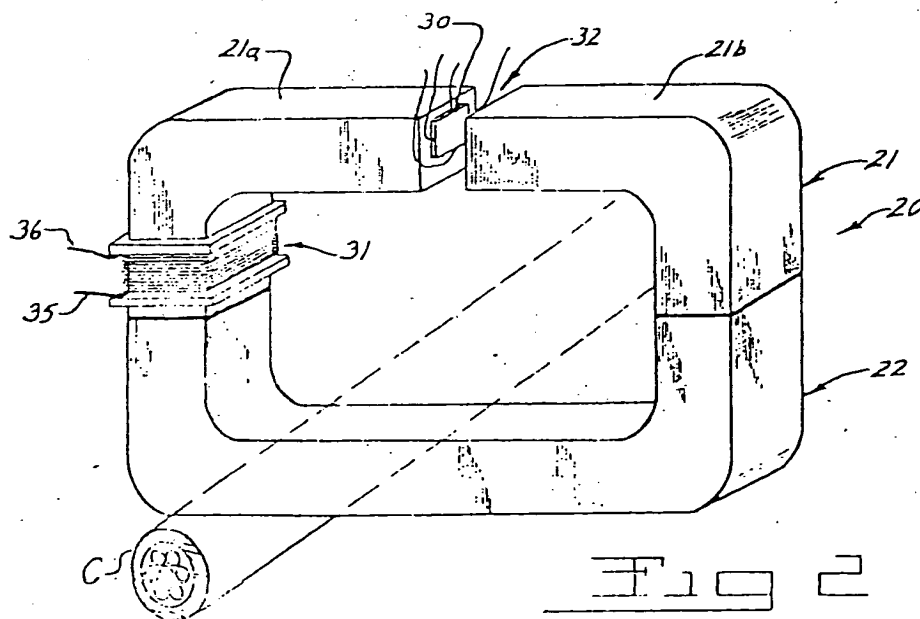


Fig. 2

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Messen des elektrischen Stromes in einem Leiter, der von einem magnetischen Kern umfaßt wird und in diesem einen magnetischen Fluß erzeugt, der über einen Meßfühler erfaßt wird und der Ermittlung der Stärke des den Leiter durchfließenden Stromes dient, dadurch gekennzeichnet, daß vor der durchzuführenden Messung auf den magnetischen Kern durch wenigstens einen einzigen gedämpften Wellenzug eines Erregerstromes erzeugte Magnetfelder einwirken.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in kurzen Zeitabständen mehrere Wellenzüge aufgebracht werden und daß die erste Halbwelle des ersten gedämpften Wellenzuges eine magnetische Erregung entgegen der Erregung aufweist, die durch den zu messenden Strom bewirkt wird.

3. Anordnung zum Messen des elektrischen Stromes in einem Leiter, der von einem magnetischen Kern umfaßt ist und einen Meßfühler aufweist, der die Größe des magnetischen Flusses im Magnetkern erfaßt und mit einer Spule versehen ist, durch die der magnetische Kern mittels eines Stromes magnetisierbar ist, zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das vom Meßfühler (30) abgenommene Meßsignal eine Vorrichtung (43) steuert, die die Spule (31) unmittelbar vor der Durchführung einer Messung mit einem gedämpften Stromwellenzug beaufschlagt.

4. Anordnung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch eine mit der Spule (31) verbundene Vorrichtung (44), die einen Strom mit gedämpft schwingender Wellenform erzeugt.

5. Anordnung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbwelle des Stromwellenzuges durch die Spule (31) im Magnetkern (20) ein Magnetfeld erzeugt, das der Richtung des vom zu messenden Strom durch den Leiter (C) erzeugten Magnetfeldes entgegengerichtet ist.

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine zugehörige Anordnung zum Durchführen des Verfahrens nach dem Oberbegriff des Anspruchs 3.

In der US-PS 3573 616 ist ein Verfahren zum kontaktlosen Messen des elektrischen Stromes in einem Leiter beschrieben, bei dem der Leiter von einem magnetischen Ringkern umgeben wird, in dem ein dem zu messenden Strom entsprechendes Magnetfeld induziert wird. Der Ringkern ist mit einer Hilfsspule versehen, die mit einem Strom beschickt wird, dessen Größe und Richtung so gewählt ist, daß das in dem Ringkern entstehende Gesamtmagnetfeld auf den Wert Null reduziert wird. Die Größe des für die Hilfsspule benötigten Stromes dient dabei als Maß für den zu messenden Leiterstrom. Dieses Verfahren mit »Null-Abgleich« hat einerseits den Nachteil, daß ein dem zu messenden Strom durch den Leiter entsprechender Strom durch die Hilfsspule erzeugt werden muß und andererseits durch dieses Verfahren Fehler entstehen, die auf die Hystereseeigenschaft des Ringkerns

der Arbeitskennlinien für ein anderes Kernmaterial, die über drei Strombereiche ermittelt wurden, und

Fig. 12 zeigt eine graphische Darstellung der Arbeitskennlinie für ein weiteres Kernmaterial für einen einzigen Strombereich.

Die in Fig. 1 dargestellte Meßzange 10 ist mit einem mehradrigen Kabel 11 verbunden, mit dem die elektrische Verbindung mit einer zugehörigen Stromversorgung hergestellt wird, wie sie in Fig. 5 näher dargestellt ist.

Die Meßzange 10 wird von zwei Gehäuseteilen 12 und 13 in Form eines langgestreckten U-Profiles gebildet. Die Enden jedes Gehäuseteils 12, 13 sind geschlossen, wobei eine Längsseite offen bleibt. Die zwei Gehäuseteile 12, 13 sind an einem passenden Punkt in der Mitte über einen Drehstift 14 schwenkbar miteinander verbunden. Eine vom Drehstift 14 im Inneren der beiden Gehäuseteile 12, 13 getragene Drehfeder 15 greift zwischen den Gehäuseteilen 12, 13 an, um die Enden, an denen das Kabel 11 eintritt, gegeneinander vorzuspannen. Der eine Gehäuseteil 13 hat eine geringere Breite als der gegenüberliegende Gehäuseteil 12 und ist somit in diesen Teil hineingepaßt, so daß sich ein relativ geschlossener Aufbau ergibt, der sicherstellt, daß die inneren Bauteile geschützt eingeschlossen sind. Ein passender Zugentlastungsverbindungsstecker 16 für das Kabel 11 ist in ein Ende des Gehäuseteils 13 eingebaut und hält das Kabel 11 fest, um eine mechanische Beschädigung zu vermeiden. Jeder der Gehäuseteile 12 und 13 weist längs verlaufende Seitenwände 17 und 18 auf.

Ein aus zwei Teilen bestehender magnetischer Kern 20 ist in den Gehäuseteilen 12, 13 demjenigen Ende gegenüber angebracht, an dem das Kabel 11 eintritt. Diese Gehäuseteile 12 und 13 sind aus einem Material hergestellt, das nicht magnetisch ist und dadurch keinen magnetischen Flußweg mit niedrigem Widerstand ausbildet, der die Arbeitsweise des Kerns 20 selbst stören oder beeinflussen kann. Ein geeignetes außerordentlich stoßfestes Kunstharzmaterial kann vorzugsweise zur Herstellung der Gehäuseteile 12, 13 verwandt werden. Obwohl angegeben wurde, daß die Gehäuseteile 12, 13 aus einem nicht magnetischen Material gebildet sind, können magnetische Materialien verwandt werden, um eine Abschirmung bezüglich äußerer Magnetfelder unter geeigneter Berücksichtigung der Beibehaltung eines Weges mit hohem magnetischen Widerstand zwischen dem Gehäuse oder der Abschirmung und dem magnetischen Kern 20 zu liefern.

Der Kern 20, der aus einer rechtwinklig geformten geschlossenen Schleife besteht, besteht aus zwei Kernteilen 21 und 22, die in den jeweiligen Gehäuseteilen 12, 13 angebracht sind. Die zwei Kernteile 21, 22 sind C-förmig und haben Endpole, die aufeinanderstoßen können und somit einen geschlossenen magnetischen Flußweg hervorrufen, wenn die Meßzange auf einen, einen elektrischen Strom führenden Leiter angesetzt ist. Der Einbau der beiden Kernteile 21 und 22 kann in bequemer Weise dadurch erfolgen, daß die Kernteile 21 und 22 in den jeweiligen Gehäuseteilen 12, 13 mittels eines Klebemittels befestigt werden. Jedes der Gehäuseteile 12 und 13 ist so geformt, daß sich im Bereich der Innenfläche des Kerns 20 eine erweiterte Öffnung ergibt, durch die der den elektrischen Strom führende Leiter hindurchgehen kann. Ein derartiger Leiter ist in Fig. 1 in unterbrochenen Linien dargestellt und mit C bezeichnet. Jede der Seitenwände 17 und 18 der jeweiligen Gehäuseteile 12 und 13 ist mit entsprechen-

den Ausnehmungen 23 und 24 versehen, die zusammen eine relativ große Öffnung 25 begrenzen, um Leiter verschiedener Stärke bis zu einer maximalen Stärke aufzunehmen, die in dem jeweiligen Kern 20 untergebracht werden kann. Eine derartige Ausbildung der Ausnehmungen 23 und 24, bei der ihre jeweiligen Umfangskanten in einem geringen Abstand innen von den Innenflächen des Kerns 20 verlaufen, liefert einen den Kern 20 schützenden Aufbau. Die Kanten der Ausnehmungen 23, 24 werden somit mit dem Leiter in Berührung kommen und eine Beschädigung des Kerns 20 verhindern.

Eine Anschlußplatte 28 ist im Inneren eines Gehäuseteils 13 angebracht und die Adern des Kabels 11 sind an ihren entsprechenden Anschlußstiften 29 befestigt. Die elektrische Verbindung mit den Bauteilen des Kerns 20 erfolgt dann einfach durch eine geeignete Verbindung mit den entsprechenden Anschlußstiften 29.

Die Bedienung der Meßzange 10 erfolgt dadurch, daß die Bedienungsperson die Enden des Gehäuses 12 und 13 in der Nähe des Kabels 11 zusammendrückt, um das gegenüberliegende Ende zu öffnen und einen Leiter C einzuführen oder freizugeben. Das Lösen des Drucks durch die Bedienungsperson ermöglicht es der Drehfeder 15 die Enden der Gehäuseteile 12, 13, in denen der magnetische Kern 20 angebracht ist, wieder zu schließen. Dadurch wird ein Leiter C in der Öffnung 25, die von den Ausnehmungen 23 und 24 begrenzt wird, eingeschlossen.

Die Anordnung des Kerns 20 eines Hallelements 30 und einer Spule 31 ist in Fig. 2 dargestellt. Der in Fig. 2 dargestellte Kern 20 weist zwei C-förmige Kernteile 21 und 22 auf, die in geschlossener Lage dargestellt sind, bilden einen rechtwinklig geformten und geschlossenen magnetischen Weg. Der eine Kernteil 21 besteht aus zwei ähnlichen Teilen 21a und 21b, die derart zueinander angeordnet sind, daß sie zusammen das C-förmige Kernteil 21 bilden. Der andere Kernteil 22 ist in einem Stück ausgebildet. Beide Kernteile 21 und 22 weisen gegenüberliegende Stirnflächen auf, die in Berührung miteinander kommen, wenn die Meßzange 10 auf einen Leiter C geklemmt wird. Bei dieser Anordnung ist zwischen den Stirnflächen der beiden Kernteile 21 und 22 des Kerns 20 kein Spalt ausgebildet, wenn die Meßzange 10 auf einen Leiter C geklemmt ist. Die zwei Teile 21a und 21b des einen Kernteils 21 sind etwa in der Mitte durch einen relativ schmalen Luftspalt 32 voneinander getrennt. In diesem Luftspalt 32 ist das Hall-Element 30 angeordnet, das an die Stirnfläche des Teils 21a gekittet ist, die eine Seite des Luftspalts 32 bildet. Mehrere elektrische Leiter, die mit diesem Hall-Element 30 verbunden sind, verlaufen um die Außenfläche des magnetischen Kerns 20 herum nach außen und sind an den jeweiligen Anschlußstiften 29 an der Anschlußplatte 28 befestigt.

Auf einem Arm des Kernteils 21a ist die Spule 31 angeordnet. Die Spule 31 ist auf eine Kunststoffrolle 33 gewickelt und enthält eine bestimmte Anzahl von Drahtwicklungen 34, die zur Erzeugung eines stabilisierenden magnetischen Feldes notwendig ist. Die Enden der Spule 31 stehen über jeweilige Leitungsdrähte 35 und 36 mit den entsprechenden Anschlußstiften 29 an der Anschlußplatte 28 in Verbindung.

Im folgenden werden typische Abmessungen des in Fig. 2 dargestellten magnetischen Kerns 20 angegeben, die jedoch nur als ein Beispiel für eine Meßzange 10 zum Messen von Strömen im Bereich bis maximal 600 Ampere anzusehen sind. Ein Kern 20 für ein derartiges

zurückzuführen sind. Je nachdem, welche Anfangsmagnetisierung der Ringkern aufwies, ist bei ein und demselben zu messenden Strom durch den Leiter ein unterschiedlich großer Strom durch die Hilfsspule 5 aufzuwenden. Die Gegenstände der US-PS 36 49 912 und der GB-PS 960 668 arbeiten nach derselben »Null-Abgleichsmethode«.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum kontaktlosen Messen der 10 Stärke des Stroms durch einen Leiter und eine zugehörige Vorrichtung anzugeben, bei denen auf die Hysterese des verwendeten Magnetkernmaterials zurückzuführende Meßfehler weitgehend ausgeschaltet sind.

15 Diese Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen der Ansprüche 1 und 3 gelöst.

Bei der angegebenen Meßmethode wird das in einem magnetischen Kern durch den zu messenden Strom erzeugte Magnetfeld unmittelbar zur Bestimmung der 20 Größe des zu messenden Stroms herangezogen. Um Fehler, die durch die Hystereseeigenschaft des verwendeten Kerns entstehen können, auszuschließen, wird der Magnetkern vor der durchzuführenden Messung entmagnetisiert. Die Entmagnetisierung wird erreicht durch 25 ein Magnetfeld mit gedämpftem Wellenzug. Eine dem magnetischen Kern vor der Messung anhaftende Remanenz wird damit vollständig auf den Wert Null zurückgeführt. Diese Maßnahme führt zu dem Vorteil, daß man für den Kern magnetisches Material mit stark 30 ausgeprägter Hysterese verwenden kann, ohne die Breite des Luftspalts groß wählen zu müssen. Dadurch lassen sich Ströme über einem weiten Meßbereich erfassen und es können relativ billige Kernmaterialien zur Anwendung kommen. Außerdem erreicht man bei 35 kleindimensionierten Luftspalten bessere Meßergebnisse, weil das Magnetfeld in einem kleinen Luftspalt stärker konzentriert ist und nicht so stark nach außen ausbaucht wie bei einem Luftspalt mit größerer Breite. Durch die starke Konzentration des Magnetfeldes in 40 einem Luftspalt kleiner Abmessung gestaltet sich auch die angeschlossene Auswerteschaltung relativ einfach, da sie mit niedrigem Verstärkungsgrad arbeiten kann. Eine derartige Auswerteschaltung ist nur wenig temperaturempfindlich und weist einen sehr geringen 45 Rauschfaktor auf.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Im folgenden wird anhand der zugehörigen Zeichnung ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung 50 näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Meßzange;

Fig. 2 eine vergrößerte perspektivische Ansicht des mit einer Stabilisierungsspule versehenen magnetischen Kerns der Stromzange nach Fig. 1;

55 Fig. 3 eine graphische Darstellung der idealisierten Magnetisierungskurve und des typischen Verlaufs der Hysterese;

Fig. 4 das schematische Schaltbild der elektrischen Schaltung für die Stabilisierungsspule;

60 Fig. 5 schematisch ein Ausführungsbeispiel des Magnetkerns mit einer angeschlossenen Betriebsschaltung;

Fig. 6, 7 und 8 graphische Darstellungen der Arbeitskennlinien eines magnetischen Kerns für ein Ausführungsbeispiel der Meßzange über jeweils drei Stromarbeitsbereiche bei der Verwendung eines magnetischen Materials geringer Qualität;

Fig. 9, 10 und 11 ähnliche graphische Darstellungen

Instrument ist in einer Draufsicht etwa quadratisch mit einer Kantenlänge von etwa 6,4 cm ausgebildet. Die Breite der Kernteile beträgt etwa 1,3 cm, woraus sich eine innere Öffnung mit einer Länge von etwa 3,8 cm zur Aufnahme des stromführenden Leiters *Ci* ergibt. Der Luftspalt 32 im Kernteil 21 hat eine Länge von etwa 1,6 mm. Mit einer solchen Meßzange lassen sich Ströme bis zu 600 Ampere messen. Als Material für den magnetischen Kern eignet sich kornorientierter kalt gewalzter Stahl, dem 3% Silicium zulegiert ist (Material I). Der Luftspalt 32 kann den speziellen Eigenschaften des zur Herstellung des Kerns verwandten Materials, sowie den maximalen Strommeßanforderungen des Instruments entsprechend größer oder kleiner ausgebildet werden. Obwohl der Kern vorzugsweise einen Schichtaufbau hat, kann er auch einen massiven Aufbau haben.

Wie bereits erwähnt, ist im Luftspalt das Hall-Element 30 angeordnet. Ein typisches Element kann eine Abmessung von 0,25 cm Kantenlänge und 0,5 mm Dicke haben. Dieses Hall-Element kann an die den Luftspalt begrenzende Fläche des Kerns geklebt oder gekittet sein und ist vorzugsweise auf dieser Fläche zentriert.

Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel kann die Spule aus etwa 100 bis 1000 Wicklungen eines Drahtes mit 0,36 mm Stärke bestehen. Es hat sich herausgestellt, daß dieser Draht für den Zweck der Spule 31 insofern geeignet ist, als der Strom, den er führen muß, höchstwahrscheinlich einen Spitzenwert von 200 Milliampere hat.

Das oben angegebene Material I für den Kern ist relativ billig und liefert eine hohe Meßgenauigkeit. Dieses Material I wird weiter unten mit zwei anderen in großem Umfang verwandten Kernmaterialien für Instrumente mit Strommeßsonden verglichen. Die magnetischen Eigenschaften der zum Vergleich herangezogenen Materialien sind derart, daß das oben bezeichnete Material seine Sättigung bei etwa 18 000 Gauß erreicht, während ein Molybdänpermalloy-Material (Material III) bei etwa 6000 Gauß gesättigt ist. Ein Material III erreicht an einem Zwischenwert von annähernd 10 000 Gauß seine Sättigung.

Es ist üblich, magnetische Kerne aus einer Anzahl dünner Bleche herzustellen, die schichtweise zusammengesetzt werden, wobei der Aufbau anschließend maschinell auf die gewünschte Form gebracht werden kann. Derartige Kerne zeigen eine Magnetisierungskurve *MC* und eine Hysterese *HC* der in Fig. 3 dargestellten typischen Form. Das in Fig. 3 dargestellte Diagramm dient lediglich zur Erläuterung und gibt nicht die einzelnen Kennlinien eines speziellen Materials wieder. Wenn ein Magnetfeld in einem Kern eines typischen magnetischen Materials induziert wird, bestimmt sich die resultierende Flußdichte nach der Magnetisierungskurve *MC* des im einzelnen verwandten Materials, die die in Fig. 3 dargestellte typische Form hat. Das heißt, daß bei einer Erhöhung der magnetischen Feldstärke auch die Flußdichte proportional ansteigt und der Magnetisierungskurve *MC* der relativen Polarität des Feldes entsprechend folgt. Wenn der Kern die Sättigung erreicht, steigt die Flußdichte mit einem weiteren Anstieg des Magnetisierungsfeldes nicht weiter an. Eine Abnahme des Magnetfeldes führt nicht dazu, daß die Magnetisierungskurve der Kurve *MC* folgt, da die Remanenz und die Flußdichte in einer typischen dynamischen Situation durch die Hysterese bestimmt sind, die in beiden Quadranten relativ symmetrisch verläuft.

Am Kern 20 ist eine Spule 31 angebracht, die periodisch durch einen Strom mit einer gedämpft schwingenden Wellenform erregt wird, der ein magnetisches Feld mit einer ähnlichen Wellenform im Kern induziert, das sich dem magnetischen Feld überlagert, das durch den gemessenen Strom induziert wird. Die periodische Zuführung dieses Stabilisierungsstromes wird im folgenden im einzelnen anhand von Fig. 4 beschrieben. Diese Schaltung enthält die Spule 31, deren Klemmen mit einer Erregerschaltung verbunden sind, die einen Kondensator 40 enthält, der wahlweise entweder an die Spule 31 oder an eine geeignete Spannungsquelle *V* mittels eines Schalters 41 angeschaltet werden kann. Dieser Schalter 41 ist als einpoliger Zweiteilungsschalter dargestellt, dessen Pol entweder mit der Klemme der Spannungsquelle *V* oder einer Klemme der Spule 31 verbunden werden kann und in einen Kreis mit dem Kondensator 40 geschaltet ist. Die Spannungsquelle *V* beschickt die Spule 31 mit einem Gleichstrom von etwa 100 Milliampere bei einer Spannung von 30 Volt. Die Aufladung des Kondensators 40 wird dann erzielt, wenn der Schalter 41 sich in einer Stellung befindet, in der der Kondensator 40 in einen Kreis mit der Spannungsquelle geschaltet ist. Wenn der Kondensator aufgeladen ist, kann die Spule 31 über den Schalter 41 erregt werden. Die Entladung des Kondensators 40 durch die Spule 31 erzeugt einen Strom mit einer gedämpft schwingenden Wellenform, wie er schematisch in Fig. 4A dargestellt ist. Dieser schwingende Strom hat eine Maximalamplitude von etwa 200 Milliampere und schwingt mit einer Frequenz von annähernd 180 Hertz, wobei der Strom in annähernd 15 Millisekunden auf Null abfällt.

Das durch die Spule 31 induzierte magnetische Feld liegt zusammen mit dem Feld vor, das durch den stromführenden Leiter *Ci* induziert wird. Die Wirkung dieses gedämpft schwingenden magnetischen Feldes, das einem im wesentlichen gleichförmigen oder statischen magnetischen Feld überlagert ist, besteht darin, daß der Einfluß der Hysterese auf das zunehmende oder abnehmende magnetische Feld von der Messung durch die Vorrichtung ausgeschlossen wird. Tatsächlich bewirkt die Spule 31 durch die periodische Arbeitsweise, daß der magnetische Kern 20 so arbeitet, als hätte er im wesentlichen überhaupt keinen Hysterese-Effekt. Der Kern arbeitet somit über den gesamten Meßbereich auf einer im wesentlichen idealisierten Magnetisierungskurve *MC*, wie sie in Fig. 3 dargestellt ist und nicht auf der Hysteresekurve *HC*.

Dieses durch die Verwendung der Spule 31 auf den Kern 20 erhaltene günstige Ergebnis ist graphisch in Fig. 6 dargestellt. Fig. 6 gibt die stabilisierte und nicht stabilisierte Arbeitskennlinie eines typischen Materials, beispielsweise des Materials I, wieder. Diese graphische Darstellung vergleicht den genau gemessenen Strom, wie er von einem Nebenschlußinstrument bestimmt wird, mit demjenigen Strom, der von einer Meßzange gemessen wird, wobei der Vergleich in Fehlerprozenten des Vollausschlags des genau im Nebenschluß gemessenen Stromes dargestellt ist. Zunächst ist anhand der nicht stabilisierten Kennlinie *A* erkennbar, daß sich bei Zunahme des Stromes in eine positive Richtung eine spezielle Fehlerkennlinie entwickelt. Um die Werte für die graphische Darstellung zu bekommen, wurde der Strom durch den Leiter *Ci* zunächst zunehmend erhöht und dann zunehmend verringert, um Werte sowohl im positiven als auch im negativen Strombereich zu

erhalten. Unstetigkeiten zeigen sich im Nullbereich als Folge der Umschaltung der Schaltung für einen positiven und einen negativen Strom. Diese Unstetigkeiten würden in einer betriebsmäßig ausgelegten Schaltung nicht auftreten. Anschließend erzeugte eine Abnahme dieses Stromes von seinem Maximalwert, der in diesem Fall bei etwa 500 Ampere lag, was eine Arbeitsweise in der Nähe des Sättigungsbereiches zur Folge hat, einen prozentualen Fehler, der relativ höher als derjenige Fehler ist, der während der Zunahme des Stromes festgestellt wurde. Diese gleiche Kennlinie entwickelt sich im allgemeinen auch dann, wenn der Strom in negative Richtung erhöht wird und anschließend auf Null herabgesetzt wird. Tatsächlich wird eine Hüllkurve zur Veranschaulichung dieses charakteristischen Merkmals entwickelt, die durch den Einfluß der Hysterese des speziellen Kernmaterials hervorgerufen wird. Das zeigt deutlich, daß ein nicht stabilisierter Kern 20 keine reproduzierbaren Ergebnisse für einen bestimmten Strom als Folge des Hysterese-Effektes liefern kann.

Aus der mit *B* bezeichneten Kurve, die die Ergebnisse wiedergibt, die mit dem Stabilisierungseffekt erhalten wurden, ist direkt ersichtlich, daß eine ausgezeichnete Wiederholbarkeit oder Reproduzierbarkeit der Messungen über den gesamten angezeigten Strombereich erhalten wird. Aus dieser graphischen Darstellung ist erkennbar, daß der Fehler immer der gleiche bleibt, unabhängig davon, ob der Strom zunimmt oder abnimmt oder ob die Messungen im positiven oder im negativen Bereich vorgenommen werden. Das hat zur Folge, daß die Meßzange geeicht werden kann, um exakte Ergebnisse zu liefern, die zuverlässig über den gesamten Arbeitsbereich des Instrumentes wiederholbar sind. Ein weiterer Vorteil ist anhand von Fig. 6 erkennbar, der darin besteht, daß relativ genaue Messungen über einen extrem großen Strombereich erhalten werden können, der in diesem Fall bei 1000 Ampere liegt, d. h. von -500 bis +500 Ampere reicht. Es werden insbesondere außerordentlich genaue Ergebnisse in den unteren Strombereich erhalten, da der prozentuale Fehler auf dem Vollausschlag (500 Ampere) basiert.

Untersuchungen wurden für das Material I angestellt, bei dem der Strombereich kleiner gehalten wurde, um jede Möglichkeit der Arbeitsweise im Sättigungsbereich oder in der Nähe des Sättigungsbereiches zu vermeiden. Fig. 7 zeigt eine graphische Darstellung der Werte, die bei einem gemessenen positiven und negativen Maximalstrom von 400 Ampere erhalten wurden. Wiederum zeigt sich klar der naheliegende Vorteil der Stabilisierung in der Gegenüberstellung der sehr nahe beieinanderliegenden Anzeigen für eine Stromzunahme oder -abnahme. Wie bei der stabilisierten Messung *B* und der unstabilisierten Messung *A* ist der bei einer unstabilisierten Messung mit diesem Material hereinkommende Fehler für die meisten Meßverhältnisse nicht akzeptierbar. Dieser klar ersichtliche Vorteil der Stabilisierung zeigt sich weiterhin in Fig. 8, wo der maximal gemessene Strom in beiden Richtungen 200 Ampere betrug.

Dieselben Untersuchungen wurden auch mit einem magnetischen Kern aus dem Material III durchgeführt. Diese Untersuchungen erfolgten bei drei verschiedenen Strombereichen insbesondere mit Maximalwerten von 400, 200 und 100 Ampere. In jedem Fall zeigt sich deutlich, daß die Stabilisierung auch eine wesentliche Verbesserung in der Arbeitsweise des aus diesem

Material hergestellten Kernes für jeden der drei Strombereiche bewirkt. Ein Vergleich der Kurven in den Fig. 9 und 10 mit den Fig. 7 und 8 für dieselben Strombereiche bezüglich des Materials I zeigt deutlich, daß das mit Material I genau so gut, wenn nicht gar besser als das wesentlich teurere Material III arbeitet, wenn zusätzlich berücksichtigt wird, daß das mit Material I einen höheren Sättigungswert hat.

Dieselben Untersuchungen wurden in ähnlicher Weise mit einem Kern durchgeführt, der aus dem Material III hergestellt ist. Die Ergebnisse für einen Kern aus diesem Material III sind graphisch in Fig. 12 dargestellt. Wiederum führt die Stabilisierung zu einer markanten Verbesserung, das bereits unter normalen Betriebsbedingungen recht gute Ergebnisse liefert.

Eine vollständige Schaltung zur Verwendung eines magnetischen Kernes bei der Durchführung von Strommessungen, bei denen der Meßfühler ein Hall-Element ist, das in eine Meßzange eingebaut ist, ist schematisch in Fig. 5 dargestellt. Aus Fig. 5 ist ersichtlich, daß die Elemente des Kernes, der das Hall-Element 30 und die Spule 31 einschließen, mit dem verschiedenen Bauelementen der zugehörigen Instrumentierung verbunden sind. Diese Instrumentierung schließt eine Schaltung 42 ein, die einen konstanten Hall-Betriebsstrom zum Arbeiten des Hall-Elementes 30 liefert. Die Ausgangsspannungsklemmen des Hall-Elementes 30 stehen mit einem Digitalvoltmeter 43 in Verbindung, das die Ausgangsanzeige sowie ein Zeitsteuersignal für die Arbeit der Stabilisierungsschaltung 44 liefert. Diese Schaltung ist in Fig. 5 dargestellt, wobei der Zeitsteuersignalanschluß durch die Verbindung zwischen dem Voltmeter und der Stabilisierungsschaltung 44 dargestellt ist. In dieser Stabilisierungsschaltung 44 ist eine elektronische Schalteinrichtung 41 verwendet, die automatisch arbeitet, um den Kondensator 40 wieder aufzuladen.

Als Anzeigeelement für den gemessenen Strom läßt sich ein Digitalvoltmeter verwenden, bei dem das Eingangssignal zunächst umgewandelt und bei dem während dieser Zeit jede Änderung im von einem Leiter C geführten Strom festgestellt wird und eine resultierende oder dazu in Beziehung stehende Anzeige erzeugt wird. Typische Zykluszeiten für derartige Instrumente sind derart gewählt, daß das Voltmeter in der Arbeitsweise der Umwandlung für eine Zeitspanne von annähernd 8 Millisekunden arbeitet und anschließend für die folgenden 200 Millisekunden im stationären Zustand gehalten wird. Im stationären Zustand spricht das Voltmeter nicht auf Änderungen im vom untersuchten Leiter geführten Strom an. Nach dem Ablauf der Zeit, in der das Voltmeter im stationären Zustand gehalten wird, wird das Voltmeter wieder automatisch für eine Umwandlungszeitspanne aktiviert.

Diese Voltmeter liefern ein Signal für das Ende der Umwandlungszeitspanne, das in dieser Schaltung dazu verwandt wird, die Stabilisierungsschaltung zu aktivieren und den Kondensator 40 mit der Spule zu verbinden. Dieses Signal tritt am Ende der Umwandlungszeitspanne auf und gibt die optimale Zeit wieder, zu der das Stabilisierungssignal an den Kern gelegt werden sollte. Der Grund dafür liegt darin, daß das Digitalvoltmeter somit nicht durch den Einfluß des stabilisierenden Magnetfeldes gestört wird, das im Kern induziert wird, und kein Fehlersignal aus diesem Grunde liefert oder erzeugt. Das Stabilisierungssignal wird vorzugsweise derart zugeführt, daß der erste Scheitel- oder Spitzenwert des durch den Strom mit einer gedämpften

27 06 547

9

schwingenden Wellenform erzeugten Magnetfeldes eine Polarität hat, die der Polarität des Magnetfeldes entgegengesetzt ist, das durch den zu messenden Strom erzeugt wird. Wenn ein positiver Strom gemessen wird, wird der gedämpfte Stabilisierungsstrom so zugeführt, daß ein in die negative Richtung verlaufender Scheitelwert zuerst an der Spule liegt.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

BEST AVAILABLE COPY

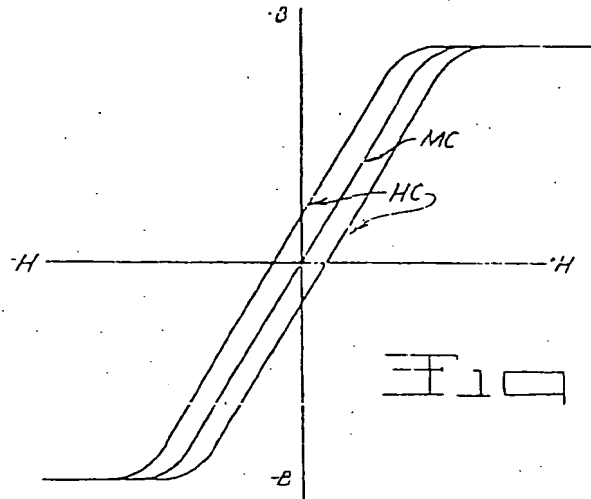


Fig 3

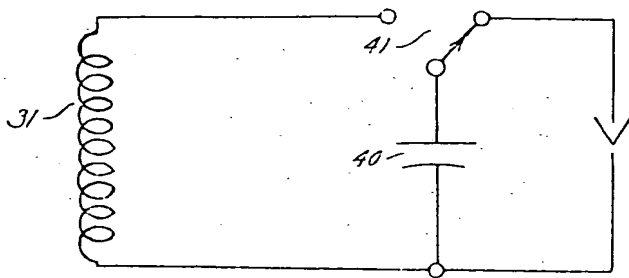


Fig 4

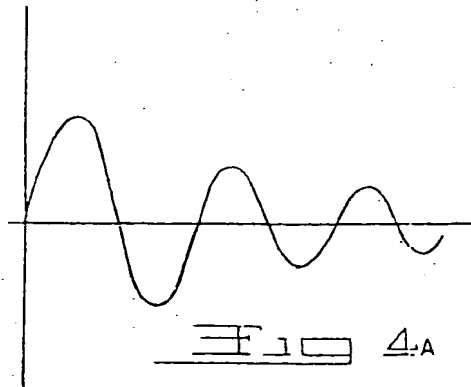


Fig 4A

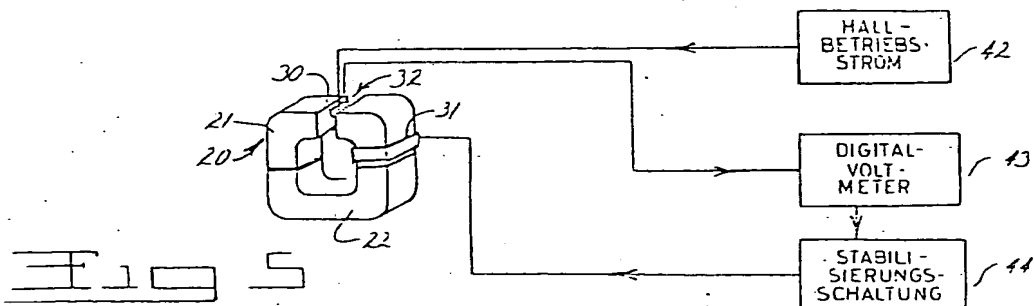
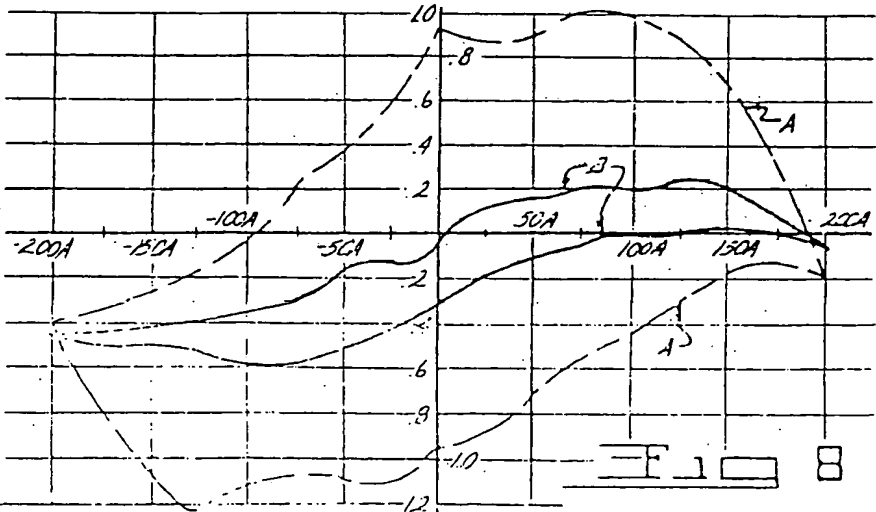
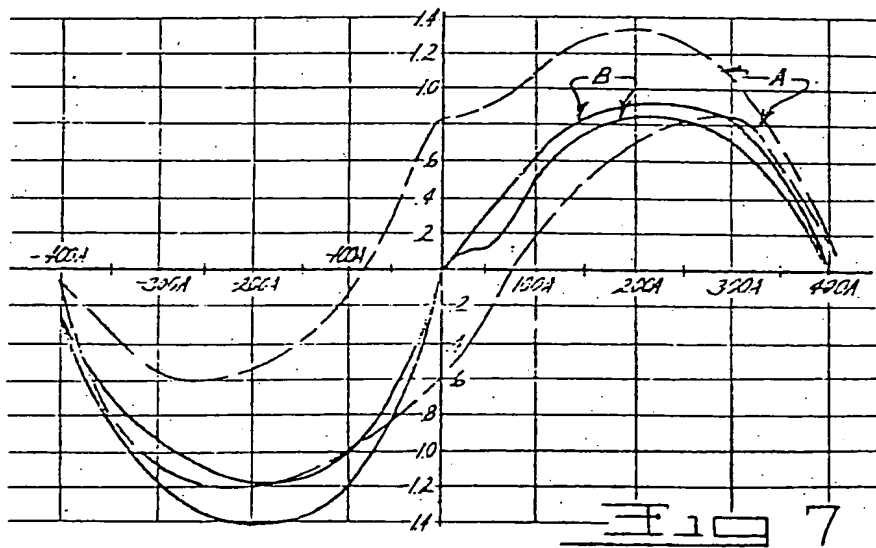
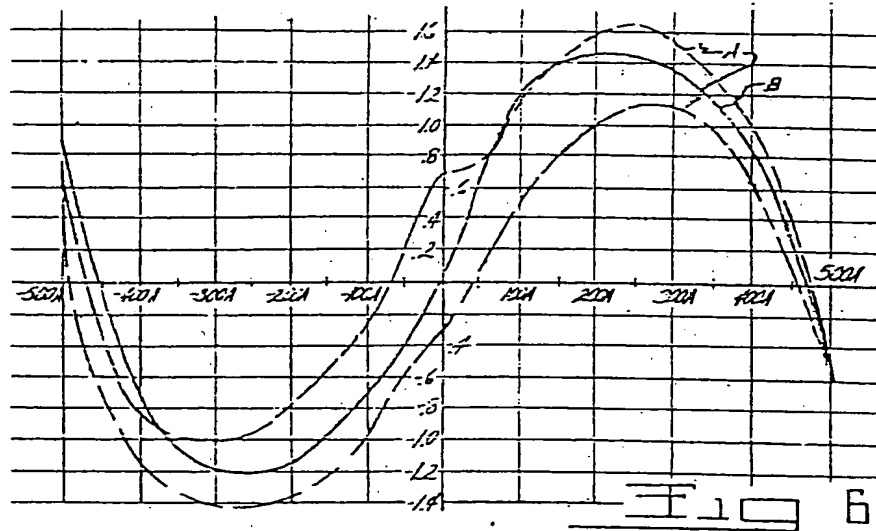
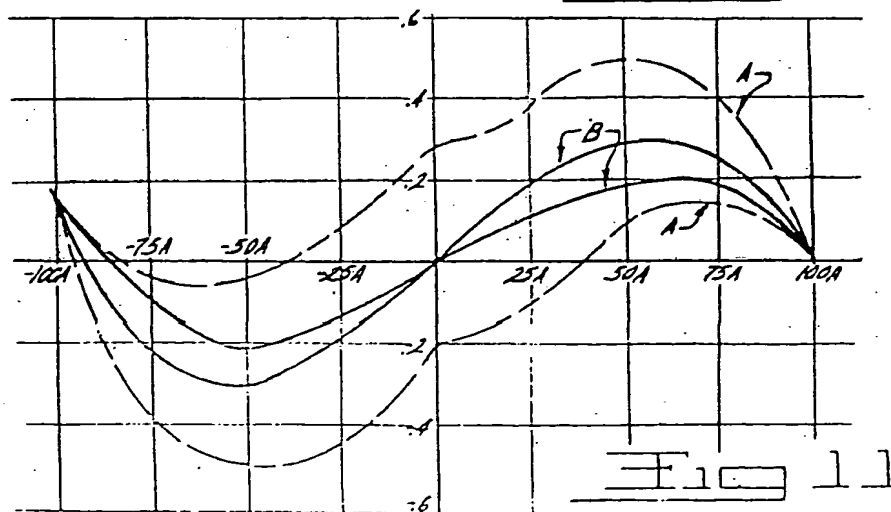
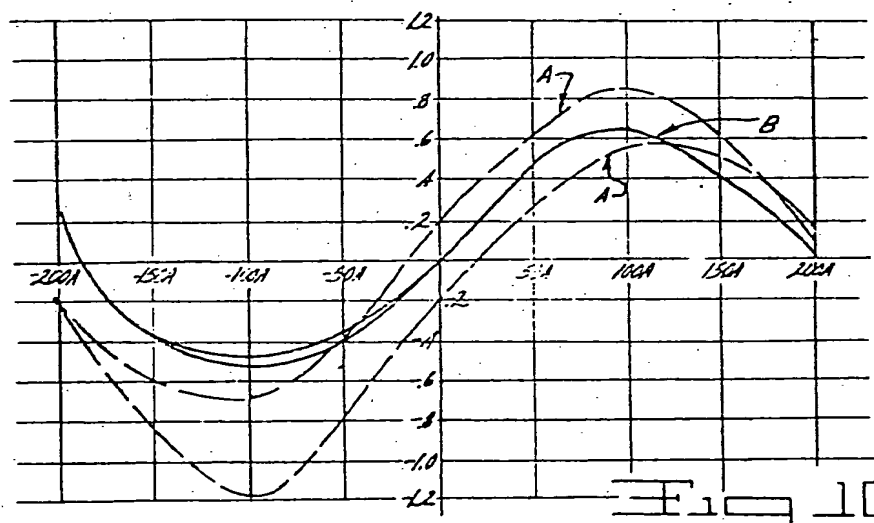
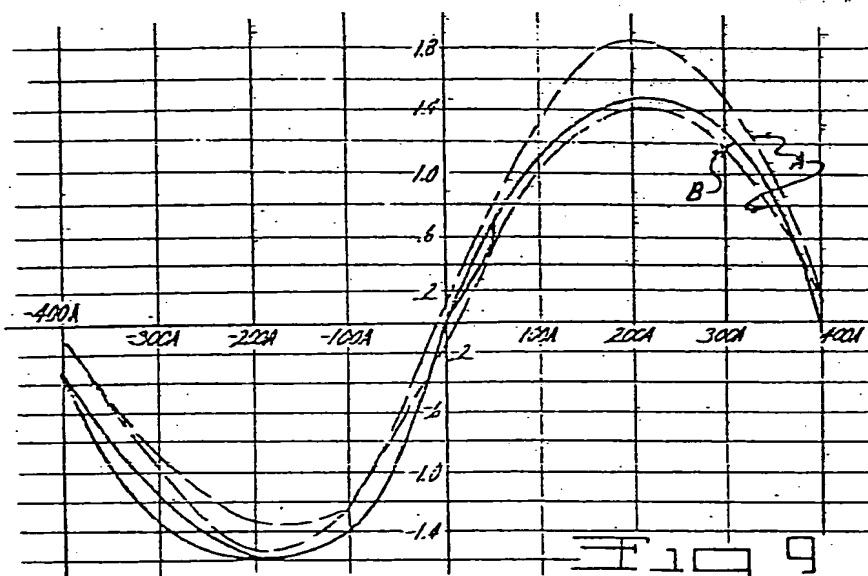


Fig 5





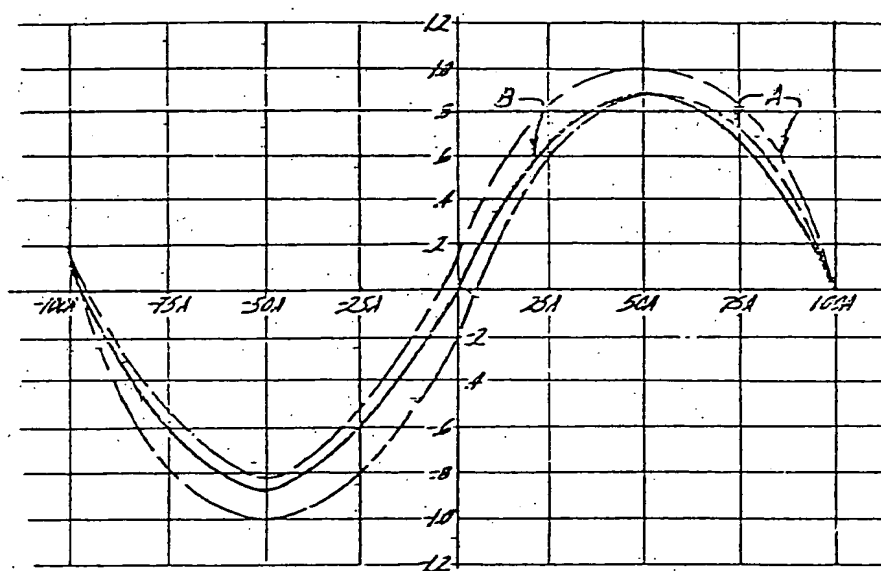


Fig 12

THIS PAGE BLANK (USPTO)